Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 1, March-April 2022, p. 95-112

Evaluating the Role of Different Management Systems on Soil Quality Index Using Crop Yield (Case Study: Neyshabour Plain, Iran)

F. Maghami Moghim[1], A. Karimi[2*], M. Bagheri Bodaghabadi[3], H. Emami[4]

Received: 01-01-2022 Revised: 06-01-2022 Accepted: 23-01-2022 Available Online: 20-05-2022	**How to cite this article:** Maghami Moghim F., Karimi A., Bagheri Bodaghabadi M., and Emami H. 2022. Evaluating the Role of Different Management Systems on Soil Quality Index Using Crop Yield (Case Study: Neyshabour Plain, Iran). Journal of Water and Soil 36(1): 95-112. (In Persian with English abstract) **DOI:** 10.22067/JSW.2022.74026.1120

Introduction

The type of management operations and land use systems are the key parameters affecting the soil quality and sustainable land use. The exploitation systems by efficient use of soil and water recourse can decrease productions costs and increase the yield as well as conserve the natural resources. However, farmers and stakeholders need to be aware that through their management practices, they affect soil quality and, with the short-term goal of production and greater profitability, lead to soil degradation. They can both use the land economically and improve and maintain soil quality by balancing production inputs and refining their management approaches. There are different management systems of productivity in agricultural lands in Neyshabour plain in northeastern Iran. In addition to the water and soil limitations in the study area, the prevalence of the smallholder system and the unwillingness of farmers to integrate smallholder, has further increased the destruction of soils in the study area. The objective of this study was to assess the changes in soil quality index in surface soil and profile (0-100 cm) and calculate the correlation between soil quality index and alfalfa and rapeseed yield in rangeland and agricultural areas managed by smallholders, total owners, and Binalood Company in the study area.

Materials and Methods

A total of 21 soil profiles were described in the total owner, smallholder and Binalood company management system and sampled from the alfalfa and rapeseed lands. Questionnaires were prepared with the help of farmers and experts in the study area based on Analytic Hierarchical analysis (AHP) method. The physical and chemical characteristics of the soil samples were determined. The important soil characteristics affecting plant growth were determined by interviewing farmers and experts study area. Soil quality index in the minimum data set (MDS) was calculated by two methods of principal component analysis (PCA) and expert opinion (EO), by additive and weighted methods in surface soil and profile. To achieve a single value for each soil properties in the soil profile, two methods of weighted mean and weighted factor were used. To evaluate the accuracy of the assessment, the correlation between soil quality index and alfalfa and rapeseed yield was investigated of the various management system.

Result and Discussion

The results showed that the highest additive and weighted soil quality index at both surface and soil profile in both PCA and EO methods were in rangeland. It was due to lack of cultivation and maintaining organic matter comparing to agricultural land. The total owner management system due to its economic power and the use of appropriate and scientific methods comparing to smallholder management system, showed the highest additive

---

1, 2 and 4- Ph.D Student in Management Soil Resources and Professors Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: karimi-a@um.ac.ir)
3- Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

and weighted soil quality index. In all management system, the EO-calculated weight index by weighted factor method had the highest value due to assigning the suitable weight for soil characteristics. The correlation analyses soil quality indices with canola and alfalfa indicated that the EO soil quality calculated by weighted factor for the soil profile were more correlated than surface soil in total owner system and the Binalood company. Weight coefficient method due to the application of different weights to each layer based on their importance, showed a higher soil quality index in both EO and PCA sets than the weighted average method. The reason for better EO performance probably is that the PCA is a reducing the dimensions, meanwhile, the minimum data selection in the EO method is based on regional experts which are familiar with cause-and-effect relationship of the soil properties. Due to the relatively good correlation of the yield of the studied products, with the soil quality index, an appropriate management needs to maintain and improve soil quality, especially in the smallholder system, as well as meeting the nutritional needs of these products.

Conclusion

Soil quality assessment in this study indicated that calculation of the soil quality index only considering the surface soil properties may not provide complete information for the farmers and land managers. Then inclusion of both surface and profile soil properties with farmers' knowledge and study area experts are essential for sustainable soil management. On the other hand, the differences in the management system also affected the soil quality index. Although the smallholder management system due to low input, especially chemical fertilizers, water and agricultural implements, had a high potential concerning environmental issues, but in terms of production, total owner and Binalood company management systems because of their high economic strength had the higher soil quality index. The farmers and stakeholders of the total owner management systems should be considered despite the proper management, however due to high inputs of fertilizer and water, especially in the Binalood company, the production may not be sustainable. Therefore, for further studies, calculating the water consumption in the desired management systems is recommended.

Keywords: Crop yield, Expert opinion, Management system, Principal component analysis, Soil quality index

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۱، فروردین- اردیبهشت ۱۴۰۱، ص ۹۵-۱۱۲

ارزیابی نقش سامانه‌های مدیریتی مختلف بر شاخص کیفیت خاک با استفاده از عملکرد محصول (مطالعه موردی: دشت نیشابور)

فرشته مقامی مقیم[۱]- علی رضا کریمی[۲*]- محسن باقری بداغ آبادی[۳]- حجت امامی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۳

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی شاخص کیفیت خاک در دو سطح لایه شخم و خاک‌رخ (عمق ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر)، در اراضی مرتعی و کشاورزی با مدیریت‌های خرده‌مالک، عمده‌مالک شخصی و اراضی شرکت کشاورزی و دامپروری بینالود در نیشابور انجام شد. ۲۱ خاک‌رخ در سامانه‌های مدیریتی مزبور، حفر و از افق‌های آن‌ها نمونه‌برداری گردید. پرسش‌نامه‌های لازم به کمک کشاورزان و کارشناسان منطقه به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، تهیه و تحلیل‌های مورد نظر انجام گرفت. از بین ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، درصد رس، شن، سیلت، قابلیت هدایت الکتریکی، pH، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، سدیم و مجموع کلسیم و منیزیم مورد تجزیه آزمایشگاهی قرار گرفت. شاخص کیفیت خاک در مجموعه حداقل داده (MDS) به دو روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و نظر کارشناس (EO) و به دو شیوه تجمعی و وزنی محاسبه شد. برای رسیدن به یک مقدار واحد از هر ویژگی در هر خاک‌رخ، از دو روش میانگین وزنی و ضریب وزنی استفاده گردید و به‌منظور بررسی صحت ارزیابی، ارتباط بین شاخص کیفیت خاک با عملکرد یونجه و کلزا نیز به روش رگرسیون خطی بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین شاخص کیفیت تجمعی و وزنی خاک در هر دو سطح لایه شخم و خاکرخ، در هر دو روش PCA و EO مربوط به اراضی مرتعی و سیستم عمده مالک بود. در تمام واحدهای مدیریتی نیز شاخص وزنی محاسبه‌شده به روش EO، بیشترین کیفیت خاک سطحی و خاک‌رخ (به روش ضریب وزنی) را به خود اختصاص داد. ارتباط بین شاخص کیفیت خاک با عملکرد یونجه و کلزا نیز نشان داد که در مجموعه EO، شاخص وزنی خاک‌رخ (به روش ضریب وزنی) نسبت به خاک سطحی، توانسته است ارتباط بیشتری با عملکرد محصول، به‌خصوص کلزا، در سیستم مدیریتی عمده مالک (خاک سطحی $R^2 = 0.75$ و خاک‌رخ $R^2 = 0.68$) و شرکت بینالود (خاک سطحی $R^2 = 0.65$ و خاک‌رخ $R^2 = 0.63$) نشان دهد. ارتباط نسبتاً خوب عملکرد محصولات مورد مطالعه، با شاخص کیفیت خاک نشان داد که به‌منظور افزایش عملکرد، نیازمند یک مدیریت اصولی در جهت حفظ و بهبود کیفیت خاک، به‌خصوص در سیستم خرده‌مالکی در جهت تامین نیازهای تغذیه‌ای که نقش مهم‌تری دارند، هستیم.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مولفه اصلی، سامانه مدیریتی، شاخص کیفیت خاک، عملکرد محصول، کارشناس خبره

مقدمه

از آنجا که توان تولید خاک، حاصل فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک است؛ بنابراین توازن پایدار این فرآیندها به همراه مدیریت مناسب، موجب تداوم باروری خاک می‌شود و هر گونه اقدام در جهت بر هم زدن این تعادل، تخریب خاک را به همراه خواهد داشت. در نتیجه، نوع عملیات مدیریتی و بهره‌برداری از اراضی بایستی با در نظر گرفتن بهبود و حفظ کیفیت خاک انجام گیرد. کارلن و همکاران (Karlen *et al.*, 1997) کیفیت خاک[۵] را به‌عنوان ظرفیت خاک به‌منظور حفظ بهره‌وری گیاهان و حیوانات، حفظ یا افزایش

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری مدیریت منابع خاک و استادان گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: karimi-a@um.ac.ir)
۳- موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

DOI: 10.22067/JSW.2022.74026.1120

5- Soil Quality Index (SQI)

کیفیت آب و هوا و حمایت از سلامت و سکونت‌گاه انسان در زیست‌بوم‌های طبیعی و مدیریت‌شده تعریف کرده‌اند. پس از آن، کیفیت خاک به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی سامانه‌های مختلف تولید محصولات کشاورزی و باغی اهمیت پیدا کرد (Mukherjee and Lal, 2014; Andrews et al., 2002). کیفیت خاک به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست و باید از شاخص‌های مربوطه استنتاج شود. توسعه شاخص کیفیت خاک شامل تعریف و گزینش ویژگی‌ها، نمره‌دهی و ادغام ویژگی‌های خاک می‌باشد (Andrews et al., 2002). با این وجود، ارزیابی کیفیت خاک به‌علت عملکردهای گوناگون و تنوع استفاده از خاک و همچنین تفاوت در ذهنیت و نگرش متعددی که کاربران از خاک دارند، متفاوت است (Vasu et al., 2916).

در ارزیابی های اولیه کیفیت پویای خاک، شاخص کیفیت خاک، در خاک سطحی مورد مطالعه قرار می‌گیرد و بیان شرایط خاک در یک حالت خاص با توجه به کاربری زمین و شیوه‌های مدیریت است و با استفاده از شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اندازه‌گیری می‌شود. کیفیت ذاتی در خاکرخ بوده و به فرآیندهای خاکسازی یا پدوژنیکی بستگی دارد و کمتر به مدیریت خاک وابسته است. ارزیابی خصوصیات خاک سطحی ممکن است آسان باشد ولی اطلاعات ناقصی را ارائه می‌دهد. زیرا اکثر عملکردهای خاک توسط فرآیندهای خاکسازی کنترل می‌شود. لذا برای شناسایی فرآیندهای خاکسازی نیازمند مطالعه خاکرخ هستیم. به‌علاوه، در اکثر روش‌های ارزیابی کیفیت خاک، برای انتخاب حداقل داده[1] از بین حجم وسیعی از عوامل و ویژگی‌های مهم و مؤثر بر کیفیت خاک، از روش‌های آماری چند متغیره که به طور گسترده پذیرفته شده‌اند، استفاده می‌شود. با این حال، لازم است که این عوامل تأثیرگذار و داده‌های مربوطه، توسط کارشناسانی که رابطه علت و معلولی خاک را درک می‌کنند و از پیچیدگی و عملکرد چند وجهی خاک آگاهی دارند، بر اساس شناختی که از خاک منطقه و سامانه مدیریتی مورد نظر دارند، انتخاب و یا بازنگری شوند (Vasu et al., 2916).

از آنجایی که کشاورزی بطور ذاتی ناپایدار است و باعث تخریب و کاهش بهره‌وری خاک می‌شود (Lal, 1997)؛ اما بسیاری از محققان اعتقاد دارند که کشاورزان، ذینفعان و نوع استفاده از اراضی و سامانه مدیریتی در این بخش، مقصر افزایش نرخ تخریب خاک هستند. بنابراین، باید به دانش و سازگاری کشاورزان توجه کرد (Issanchou et al., 2018). از این رو، آموزش به کشاورزان و افزایش آگاهی عمومی و درک اساسی از فرآیندهای تخریب خاک، هم برای بهره-وری طولانی‌مدت و هم برای بهبود و حفظ کیفیت خاک و محیط-زیست ضروری است (Lal, 2015). اگر کشاورزان و ذینفعان به این نتیجه برسند که از طریق شیوه‌های مدیریتی خود بر کیفیت خاک تأثیرگذار هستند و با اهداف کوتاه‌مدت تولید و سودآوری، خلاف جهت حفاظت از منابع خاک عمل می‌کنند؛ آن‌گاه از طریق تعادل بین ورودی‌های تولید و کیفیت خاک و در نهایت اصلاح رویکردهای مدیریتی خود، هم به اهداف مورد نظر می‌رسند و هم کیفیت خاک را بهبود داده و حفظ کرده‌اند. به بیان دیگر، راهکارهایی که دانش کشاورزان را در مدیریت زمین دخیل می‌کنند باید توسعه و ترویج یابند؛ زیرا در خیلی از مواقع که امکان تجزیه کمی ویژگی‌های خاک برای کشاورزان مقدور نیست، با ارزیابی‌های دیداری در مزرعه، براساس تجربه و دانش کشاورزان و مشاوران می‌توان تا حدودی وضعیت کیفیت خاک مزرعه را نشان داد و بر اساس آن، مدیریت بهتری در مزرعه اعمال کرد (Abera et al., 2020).

در بین عوامل مؤثر بر مدیریت پایدار و افزایش بهره‌وری محصول، نوع عملیات مدیریتی و نظام بهره‌برداری از اراضی (Yadav et al.,2019) و ادراک و آگاهی کشاورزان (Abera et al., 2020)، هر کدام به نوعی در حفظ و بهبود کیفیت خاک، یک ویژگی مهم تلقی می‌شوند و در تعیین بهترین استفاده از اراضی تأثیرگذار هستند. در این میان، نظام‌های بهره‌برداری به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین مسایل نظام کشاورزی در بعد کلان و یا ساختاری، با مطرح کردن شیوه‌های مدیریت و به‌کارگیری منابع دیگر (مانند سرمایه و نیروی کار) می‌توانند مناسب‌ترین شرایط برای استفاده بهینه از منابع، جلب مشارکت بهره‌برداران، فراهم ساختن زمینه‌های پذیرش فناوری و جلب سرمایه در بخش کشاورزی را فراهم سازند تا با گسترش سامانه مدیریتی بهینه و مناسب با شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی مناطق، وضعیت مطلوب‌تری از نظر کاهش میزان اتلاف انرژی، هزینه‌های تولید و افزایش عملکرد حاصل شود (Alizadeh, 2015).

دشت نیشابور به‌عنوان جزئی از حوضه کال‌شور، که مدام تحت تأثیر رسوبات شور و سدیمی آن قرار دارد، یکی از مراکز اصلی تولید محصولات کشاورزی در استان خراسان رضوی محسوب می‌شود. در کنار خیلی از محدودیت‌های آب و خاک که در منطقه وجود دارد، به‌نظر می‌رسد که رواج سامانه خرده‌مالکی و عدم تمایل کشاورزان به یکپارچه شدن اراضی خرد، باعث افزایش بیشتر تخریب خاک‌های منطقه شده است. با توجه به گسترش کشاورزی و دامپروری در منطقه، دو نوع نظام بهره‌برداری در منطقه دایر شده است. این دو نظام شامل دو مجموعه مختلف می‌باشد: ۱- نظام بهره‌برداری تعاونی تولید روستایی که با هدف بهره‌برداری بهینه از منابع، بهبود وضعیت معیشتی و ارتقای توان اقتصادی و اجتماعی اعضاء (خرده‌مالک و عمده مالک) و در نهایت یکپارچه‌سازی و تجمیع اراضی تأسیس شده است (Hoghoghi Esfahani, 2012) و ۲- نظام بهره‌برداری

1- Minimum data set (MDS)

سهامی عام که متعلق به شرکت کشاورزی و دامپروری بینالود (زیرمجموعه هلدینگ بنیاد مستضعفان) است که به‌عنوان واحد خصوصی (مدیریتی – اقتصادی) این منطقه به‌شمار می‌رود. شرکت بینالود با نگرش بهبود مستمر تولید، به دنبال عرضه محصولات با کیفیت در رشته دامپروری و کشاورزی با اجرای طرح یکپارچه‌سازی و تجمیع اراضی می‌باشد. با توجه به بازدیدهای صحرایی و بررسی‌های انجام‌شده، به‌نظر می‌رسد که این تفاوت در سامانه مدیریتی می‌تواند در میزان افزایش عملکرد و کیفیت خاک و کاهش توسعه تخریب خاک اثرگذار باشد. بنابراین، با توجه به لزوم اتخاذ تصمیم‌های صحیح در مصرف عوامل تولید، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سامانه‌های بهره‌وری مختلف بر شاخص‌های کیفیت خاک[1] در بخش خاک سطحی و خاک‌رخ (عمق ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر) و ارتباط آن‌ها با عملکرد محصول در دشت نیشابور انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۵۱ کیلومتر مربع (۵۱۸۵ هکتار) در مختصات "۰۰ '۴۴ °۵۸ تا "۳۱ '۴۹ °۵۸ شرقی و "۱۵ '۵۴ °۳۵ تا "۲۲ '۰۳ °۳۶ شمالی قرار دارد (شکل ۱). کاربری عمده منطقه شامل اراضی مرتعی و کشاورزی است. در این محدوده سه واحد مدیریتی خرده‌مالک با مساحت ۲۱۲۷ هکتار (تیپ بهره‌وری پنبه، کلزا و یونجه به‌صورت کشت سنتی)، عمده مالک شخصی با مساحت ۳۴۰ هکتار (تیپ بهره‌وری یونجه و کلزا به‌صورت کشت نیمه‌مکانیزه) و اراضی شرکت کشاورزی و دامپروری بینالود با مساحت ۱۲۱۵ هکتار (تیپ بهره‌وری یونجه، کلزا، ذرت علوفه‌ای و جو به‌صورت مکانیزه) وجود دارد. اقلیم منطقه، نیمه‌خشک با میانگین دمای سالیانه، ۱۴/۳۳ درجه سلسیوس و متوسط بارندگی سالیانه، ۲۴۰ میلی‌متر در یک دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸) می‌باشد. همچنین، میانگین ارتفاع منطقه از سطح دریا، ۱۲۱۳متر است. وجود سازندهای متشکل از رسوبات تبخیری نئوژن در حاشیه دشت‌ها و اراضی پست باعث ایجاد آبخوان‌های شور در مجاورت آبخوان‌های شیرین در انتهای دشت‌ها شده است. این رسوبات در اکثر دشت‌ها باعث شوری آب‌های زیرزمینی و به دنبال آن، شوری اراضی کشاورزی که با این آب‌ها آبیاری می‌گردند، شده است.

مطالعات ستادی و صحرایی

ابتدا با توجه به نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، منطقه از نظر ماده مادری بررسی شد و تفاوتی از نظر ماده مادری مشاهده نشد (GHaemi *et al.*, 1999). سپس با توجه به سامانه‌های مدیریتی حاکم در منطقه و کاربری‌های متفاوتی که در منطقه مشاهده شد، به کمک گوگل ارث نقشه اولیه واحدهای مدیریتی (شکل ۱) ترسیم و در مجموع ۲۱ خاک‌رخ در (اراضی شرکت بینالود با خاک‌رخ شماره P_2-P_3-P_{16}-P_{18}-P_{20}-P_{21}، اراضی عمده مالک با خاک‌رخ شماره P_7-P_8-P_{12}، اراضی خرده مالک با خاک‌رخ شماره P_6-P_9-P_{13}-P_{14}-P_{15}-P_{19} و اراضی دست نخورده با خاک‌رخ شماره P_1-P_4-P_{10}-P_{17}) در کاربری‌های یونجه و کلزا حفر و پس از تشریح، از افق‌های ژنتیکی نمونه‌برداری شد (شکل ۱). سپس پرسش‌نامه‌های لازم نیز به کمک کشاورزان و کارشناسان منطقه بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی[2] (Bagheri Asgharpoor, 2010 , Bodaghabadi *et al.*, 2007) تهیه شد.

مطالعات آزمایشگاهی

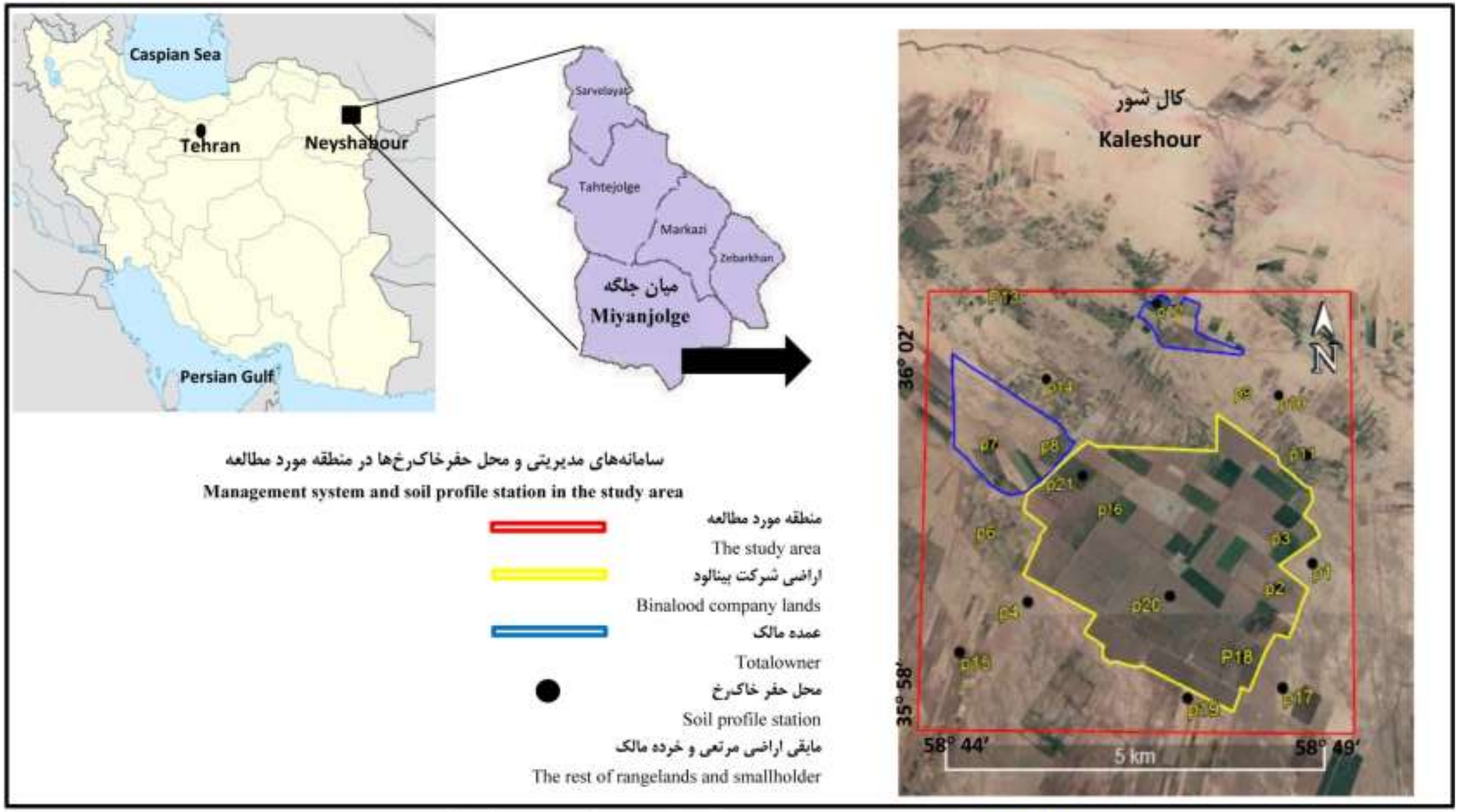
نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن و کوبیده شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و برای آزمایش‌های مورد نظر، مورد استفاده قرار گرفتند. از بین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک، ۱۲ ویژگی متناسب با شرایط منطقه انتخاب شدند و مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. کربنات کلسیم معادل با استفاده از روش تیتراسیون برگشتی (Piper, 1966)، pH خاک و قابلیت هدایت الکتریکی آن در عصاره گل اشباع (Thomas, 1996)، کربن آلی خاک با استفاده از روش والکی– بلک (Walkly and Black, 1934)، درصد شن و رس و سیلت به روش هیدرومتر (Gee and Bauder, 1986)، نیتروژن کل به روش کجلدال (Bremner and Mulvaney, 1982)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982)، پتاسیم قابل استفاده به روش استات آمونیوم (Page *et al.*, 1982) و سدیم محلول به روش شعله‌سنجی و با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (Page *et al.*, 1982) و مجموع کلسیم و منیزیم به روش (Page *et al.*, 1982) اندازه‌گیری شدند.

شاخص کیفیت خاک

به‌منظور نشان دادن نقش فعالیت‌های انسان و نوع سامانه مدیریتی در روند کاهش و یا بهبود کیفیت خاک، شاخص کیفیت خاک برای سامانه‌های مدیریتی حاکم در منطقه در دو عمق لایه شخم و خاک‌رخ (صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر)، در سه مرحله ۱– انتخاب ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک، ۲– نمره‌دهی به معیارها به‌منظور هم‌واحدکردن ویژگی‌های مختلف به روش خطی و ۳– ادغام معیارها به دو روش تجمعی و وزنی برای رسیدن به شاخص نهایی انجام شد.

1- Soil quality indices (SQI)

2- Analytic hierarchical analysis (AHP)



شکل ۱- موقعیت سامانه‌های مدیریتی و محل حفر خاک‌رخ‌ها در دشت نیشابور، شمال شرق ایران

Figure 1- The location of the soil profile and management system in Neyshabour plain, northeastern Iran

برای رسیدن به یک مقدار واحد از هر ویژگی در خاک‌رخ‌های مورد مطالعه، ابتدا به کمک دو روش میانگین وزنی و ضریب وزنی، میانگین ویژگی‌ها محاسبه شد. در روش ضریب وزنی، عمق مورد نظر به چهار قسمت مساوی شامل ۲۵-۰، ۵۰-۲۵، ۷۵-۵۰ و ۱۰۰-۷۵ تقسیم گردید و به هر قسمت، یک شاخص تصحیح عمق که به آن ضریب وزنی می‌گویند اختصاص داده شد (Sys *et al.*, 1991). ضرایب وزنی مورد استفاده برای چهار عمق مذکور، به‌ترتیب از سطح به عمق خاک، شامل ۱/۷۵، ۱/۲۵، ۰/۷۵ و ۰/۲۵ بودند.

مرحله ۱: انتخاب مجموعه حداقل داده

هدف اصلی انتخاب حداقل داده، کاهش تعداد متغیرها به یک مجموعه کوچک‌تر است، به‌نحوی که این مجموعه کوچک، بیشترین تغییرات موجود در داده‌ها را تبیین کند و اطلاعات موجود در متغیرها نیز حفظ شود. این مرحله، خود به دو شیوه زیر انجام گرفت:

الف- انتخاب حداقل داده بر اساس نظر کارشناسان خبره منطقه (EO, MDS-1)

انتخاب حداقل داده در این روش منوط به‌نظر کارشناس، دید میدانی و آگاهی و تجربه او از روابط پیچیده خاک بود. بر این اساس، بعد از حضور در منطقه و تهیه پرسش‌نامه، متغیرهای مورد نظر توسط کارشناسان مربوطه که سال‌هاست در منطقه مورد نظر، فعالیت دارند و در جریان محدودیت‌های بخش کشاورزی (بخصوص آب و خاک) هستند و همچنین در زمینه توزیع نهاده‌های کشاورزی و دامی فعال هستند و از طرفی در جریان مسایل اجتماعی و اقتصادی کشاورزان منطقه می‌باشند، انتخاب شده‌اند و براساس فراوانی متغیرها، برتری‌ها مطابق پرسش‌نامه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، بین ۱ تا ۹ تعیین شد. با توجه به برتری‌های ارائه‌شده، اهمیت هر عامل و برتری آن نسبت به عوامل دیگر، تعیین گردید و براساس ماتریس مقایسات زوجی، وزن‌دهی به هر متغیر انجام شد (Mandal *et al.*, 2020).

ب- انتخاب حداقل داده به روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA-MDS-2)

در این روش، حداقل داده برای لایه شخم و همچنین برای خاک‌رخ، با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲)، محاسبه شد. به‌منظور کاهش تعداد مؤلفه‌ها و انتخاب MDS، از آزمون اسکری (Andrews and Carroll, 2001) استفاده شد. در هر مؤلفه اصلی، تنها متغیرهایی که مقادیر قدرمطلق وزنشان، جزء ۱۰ درصد بالاترین وزن متغیر بودند، به‌عنوان MDS در نظر گرفته شدند (Hemmati *et al.*, 2019).

تمامی ویژگی‌ها در دو سطح لایه شخم و خاک‌رخ به روش نمره‌دهی خطی، بین صفر تا یک در سه گروه زیر، بخش‌بندی شدند:

۱- هرچه بیشتر، بهتر مانند ماده آلی با استفاده از از معادله (۱)

۲- هرچه کمتر، بهتر مانند شوری، سدیم محلول و نسبت جذب سطحی سدیم) با استفاده از معادله (۲)

۳- حد بهینه، مانند pH، درصد شن و سیلت و رس، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده و کربنات کلسیم

سپس ویژگی‌ها، براساس مقادیر بهینه موجود در منابع (Malakoti, 2014) امتیاز دهی شدند. در این حالت، اگر مقدار متغیر از حد بهینه بیشتر بود، از معادله ۲ و اگر مقدار متغیر از حد بهینه کمتر بود، از معادله ۱ برای امتیازدهی استفاده شد. با توجه به اینکه مقادیر pH، شن، رس و کربنات کلسیم معادل در منطقه مورد مطالعه، از حد بهینه بیشتر بودند؛ از معادله ۲ برای این ویژگی‌ها استفاده شد. همچنین برای سیلت، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، با توجه به کمتر بودن مقدار آن‌ها از حد بهینه، از معادله ۱ استفاده گردید.

معادله (۱) $$SL = (x - m)/(n - m)$$

معادله (۲) $$SL = 1 - ((x - m)(n - m))$$

که SL نمره تعلق‌گرفته به هر ویژگی، x ویژگی مورد نظر، m کمترین و n بیشترین مقدار ویژگی مورد نظر می‌باشند (Askari and Holden, 2015).

بعد از نمره‌دهی و بدون بُعد کردن ویژگی‌ها، به دو روش زیر، ویژگی‌های مزبور تلفیق شدند و شاخص کیفیت خاک (SQI) محاسبه گردید (Liu *et al.*, 2014):

۱- تجمعی ساده [1]

معادله (۳) $$SQI_A = \sum_{i=1}^{n} si/n$$

۲- تجمعی وزنی [2]

معادله (۴) $$SQI_W = \sum_{i=1}^{n} si \times wi$$

که SQI_A و SQI_W به‌ترتیب، شاخص تجمعی و وزنی کیفیت خاک، S_i نمره تعلق‌گرفته به هر ویژگی، n تعداد ویژگی و Wi، وزن تعلق‌گرفته به هر ویژگی هستند.

به‌منظور تعیین وزن تعلق‌یافته به ویژگی‌های خاک برای مجموعه MDS، سهم هر ویژگی یا واریانس مشترک محاسبه شد. سپس نسبت مقدار سهم هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم کل ویژگی‌ها در مجموعه مورد نظر، به‌عنوان وزن آن ویژگی برای محاسبه شاخص

1- Additive
2- Weighted

کیفیت خاک در نظر گرفته شد (Masto *et al*., 2008). در انتها، میانگین شاخص کیفیت خاک‌رخ‌ها معادل با میانگین شاخص کیفیت خاک هر واحد مدیریتی در نظر گرفته شد.

بعد از محاسبه شاخص کیفیت خاک، به‌منظور صحت ارزیابی و بررسی وضعیت خاک برای تولید، با برقراری یک ارتباط رگرسیونی بین متوسط عملکرد مشاهده‌شده یونجه و کلزا (تن در هکتار در سال) و شاخص کیفیت خاک در سامانه‌های مدیریتی مورد نظر، سامانه مدیریتی مناسب‌تر، به‌منظور کنترل تخریب و حفظ و بهبود کیفیت خاک، با توجه به شرایط اجتماعی و اقتصادی منطقه، انتخاب شد.

نتایج و بحث

توصیف آماری ویژگی‌های خاک

خلاصه برخی آماره‌های توصیفی برای ویژگی‌های خاک‌رخ‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. از آنجا که ضریب تغییرات کمتر از ۱۰ درصد، دلالت بر تغییرپذیری پایین ویژگی مورد نظر و ضریب تغییرات بالاتر از ۹۰ درصد، بیانگر تغییرپذیری بالای آن دارد (Zhang et al., 2007)، بر این اساس، اکثر ویژگی‌های خاک سطحی به جز کربنات کلسیم معادل و pH که در منطقه مورد نظر و اکثر مناطق خشک و نیمه خشک مشابه منطقه مورد مطالعه، توزیع و روند ثابتی دارند و تابع اقلیم و ماده مادری هستند (Salardini, 1739)، تغییرپذیری بیشتری نسبت به ویژگی‌های عمقی دارند. تغییرپذیری نیتروژن، پتاسیم، فسفر و ماده آلی، به‌عنوان ویژگی‌هایی از خاک که نقش مهمی در عملکرد محصول و کیفیت خاک دارند، بیشتر از سایر ویژگی‌ها تحت تأثیر مدیریت است؛ ولی تغییرپذیری قابلیت هدایت الکتریکی، سدیم محلول و نسبت جذب سطحی سدیم، بیشتر تابع کیفیت آب آبیاری و رسوبات کال‌شور می‌باشند. انحراف معیار و پراکندگی ویژگی‌های ذکرشده نیز دلالت بر این مهم دارد که رسوبات کال‌شور، نقش مهمی در تغییرات و پراکندگی آن‌ها در منطقه دارد، تا جایی که با دور شدن از کال‌شور و همچنین تغییر در سامانه مدیریتی، ویژگی‌های مورد مطالعه توزیع متفاوتی در هر دو سطح دارند (جدول ۲). خاک‌رخ شماره ۱۰ با کاربری مرتع (نزدیک‌ترین خاک‌رخ به کال‌شور) به‌علت رسوبات کال‌شور بیشترین مقدار سدیم، رس و قابلیت هدایت الکتریکی را دارد که با دور شدن از کال‌شور به‌تدریج بافت خاک درشت‌تر و شنی می‌شود، ولی قابلیت هدایت الکتریکی خاک با توجه به کیفیت آب آبیاری و مقدار عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر با توجه به سامانه مدیریتی، به‌ویژه مقدار و نوع کوددهی تغییر می‌کند. در ادامه همان‌طور که جدول شماره ۲ نشان می‌دهد، اراضی مرتعی در هر دو سطح، بیشترین میزان ماده آلی را به‌علت عدم کشت و کار نسبت به اراضی کشاورزی دارند. با این وجود، فقدان ماده آلی در اکثر خاک‌رخ‌ها به‌عنوان عامل مهمی که در تأمین رطوبت و پایداری خصوصیات فیزیکی خاک نقش دارد و همچنین نقش مهمی بر کاهش عملکرد خواص هیدرولیکی خاک، نفوذپذیری ریشه و آب و خصوصیات خاک‌رخ و در نهایت بهره‌وری محصول دارد، بایستی مورد توجه کشاورزان و مدیران واقع شود. وجود کربنات کلسیم در خاک، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌علت بارندگی کم، نباید خیلی نگران‌کننده باشد؛ ولی به همراه سدیم، به‌ویژه در لایه‌های زیرین خاک‌رخ‌های بالادست که بیشتر تحت تأثیر رسوبات کال‌شور هستند، می‌تواند منجر به تشکیل کربنات سدیم شود؛ درنتیجه، pH خاک افزایش و جذب عناصر کم‌مصرف کمتر شود. به‌علت عادت کشاورزان در توجه ویژه به کودهای فسفاته به نسبت سایر کودها، بالابودن مقدار فسفر در اراضی کل‌مالک و شرکت بینالود، و از طرفی پایین بودن مقدار پتاسیم در این اراضی نیز با توجه به جذب زیاد پتاسیم توسط گیاه یونجه بایستی مورد توجه مدیران و کارشناسان منطقه به‌منظور توصیه اصولی کود قرار گیرد. کاهش عمق در اراضی بالادست، ریزبودن بافت خاک به‌علت مقدار بالای رس و نفوذپذیری کم نسبت به ریشه و آب منجر به کاهش رطوبت در طول دوره رشد و اختلال در بهره‌وری محصول می‌شود که این امر نیز بایستی مورد توجه مدیران و کشاورزان قرار گیرد تا با مدیریت آگاهانه و آگاهی داشتن از عملکردهای خاک و نقش مدیریت در این عملکردها، ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک را به محدوده بهینه‌شان نزدیک کنند تا به بهره‌وری مورد نظر همراه با بهبود و یا حفظ کیفیت خاک دست پیدا کنند.

شاخص کیفیت خاک

الف- انتخاب حداقل داده به روش EO

بر اساس نتایج روش EO، از بین ۱۲ ویژگی مؤثر بر کیفیت خاک منطقه (جدول ۱)، به‌ترتیب برتری، پنج ویژگی قابلیت هدایت الکتریکی، ماده آلی، فسفر قابل استفاده، پتاسیم قابل استفاده و نیتروژن کل به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی‌هایی که نماینده بهتری از عوامل مؤثر بر کیفیت خاک و بهره‌وری محصول در منطقه هستند و از سوی دیگر، سامانه مدیریتی بر تغییرپذیری آن‌ها تأثیرگذارتر از اقلیم و ماده مادری است و می‌توانند تغییرات کیفیت خاک را بهتر توصیف نمایند، توسط کارشناسان خبره، بررسی و انتخاب شدند. کربنات کلسیم معادل و pH با توجه به این‌که پراکندگی یکنواختی دارند و جزء لاینفک خاک‌های منطقه هستند و بیشتر تابع اقلیم و ماده مادری هستند، توسط کارشناسان به‌عنوان MDS انتخاب نشدند. افزون بر این، مقدار کربنات کلسیم معادل، به‌خصوص در خاک‌های منطقه و مناطق مشابه با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، از نظر شیمیایی چندان فعال نیست و نمی‌تواند به اندازه خیلی از عوامل مهم دیگر مانند کم آبی، نوع نگرش و سوء مدیریت کشاورزان، مشاوران و

مسئولان مربوطه، رابطه‌ای با کم شدن عملکرد محصول داشته باشد؛ چرا که خاک‌های مرتعی یا به نوعی مالی‌سول‌ها نشان داده‌اند که با وجود داشتن کربنات کلسیم (آهک) فراوان، جزو بارورترین خاک‌ها هستند (Salardini, 1739). علاوه بر این، با توجه به فیزیوگرافی منطقه و فرآیندهای فرسایش و رسوبی که در منطقه رخ می‌دهد، مقدار شن، سیلت، رس و سدیم محلول نیز به‌عنوان MDS انتخاب نشدند. بنا بر نظر کارشناسان منطقه، تغییر دادن این ویژگی‌ها و نزدیک کردنشان به حد بهینه با توجه به هزینه بالا و مصرف انرژی زیاد، به اندازه بهبود شیوه‌های مدیریتی به‌منظور رسیدن به عملکرد مطلوب و حفظ کیفیت خاک لازم و ضروری نیست و لازم است نگرش کشاورزان و ذینفعان را به این سمت و سو سوق داد که با آب آبیاری شور، در خاکی سدیمی با بافتی درشت یا ریز ولی با مدیریت صحیح می‌توان عملکرد را به شرط پایداری افزایش داد.

ب- انتخاب حداقل داده به روش PCA

انتخاب حداقل داده به روش PCA در لایه شخم

در این روش معمولاً مؤلفه‌هایی که مقدار قابل توجهی از پراکندگی داده‌ها را در نظر می‌گیرند و دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر یا مساوی یک هستند به‌عنوان مؤلفه‌های اول انتخاب می‌شوند. در این سطح، چهار مؤلفه که دارای مقادیر ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک بودند، انتخاب شدند. بر این اساس، هر یک از این مؤلفه‌ها به‌صورت جداگانه به‌ترتیب ۳۳/۸۸، ۲۲/۹۶، ۱۳/۲۲ و ۱۰/۱۸ درصد از تغییرات واریانس و در مجموع ۸۰/۲۶ درصد از واریانس کل را توجیه می‌کنند (جدول ۳).

جدول ۱- توصیف آماری ویژگی‌های خاک در منطقه مورد مطالعه

Table 1- Descriptive statistics of the soil properties in the study area

ویژگی‌های خاک Soil properties	سطحی Surface				خاک‌رخ Soil profile			
	میانگین Mean	انحراف معیار Std.dev	دامنه Range	ضریب تغییرات CV (%)	میانگین Mean	انحراف معیار Std.dev	محدوده Range	ضریب تغییرات CV (%)
سدیم Na (meq/l)	6.5	4.2	5.1-13	53	8.1	5.3	8.2-13.60	37
قابلیت هدایت الکتریکی EC(dS/m)	4.2	6.4	3-9.28	69	4.4	1.1	3.3-7.6	24
نیتروژن کل N (mg/kg)	31	5	20-40	50	23	3	10-35	8
فسفر قابل استفاده P (mg/kg)	9	5.5	3-15	51	6	2.17	2-10.5	27
پتاسیم قابل استفاده K (mg/kg)	140	5.50	70-280	56	70	533	50-225	34
سیلت Silt (%)	22.70	7.3	11-38	58	21.84	5.80	13-38	26
شن Sand (%)	68	7.9	50-82	67	58.15	11.75	34-78	20
رس Clay (%)	9.5	6.4	2-25	53	18.96	9.4	7-45	44
کربن آلی OC (%)	0.30	5.1	0.30-0.37	58	0.18	4.8	0.18 0.28	31
کربنات کلسیم معادل CCE (%)	17.6	2.50	12 –22	14	15.87	2.3	13-21	14
نسبت جذب سطحی سدیم SAR	2.1	1.70	0.2- 5.40	51	2.82	1.65	1.15-6.20	42
اسیدیته pH	7.80	0.12	7.50 – 8	9	7.7	0.36	6.7-8.4	4

جدول ۲- میانگین ویژگی‌های خاک خاک‌رخ‌های شاهد در مدیریت‌های مختلف

Table 2- Mean values properties of the representative soil profiles in different management systems

	سطحی Surface				خاک‌رخ Soil profile			
شماره پروفیل Soil profile No.	P10	P13	P12	P2	P10	P13	P12	**P2**
سامانه مدیریتی Management system	اراضی مرتعی Range land	خرده‌مالک Smallholder	عمده مالک total owner	اراضی بینالود Binalood company	اراضی مرتعی Range land	خرده‌مالک Stallholder	عمده مالک total owner	**اراضی بینالود Binalood company**
سدیم Na (meq /l)	11	5.65	5.4	6.1	7.6	6.40	5.4	**6**
قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS/ m)	9.3	4.55	4.1	3.6	4.7	4.3	4.13	**3.3**
نیتروژن N (mg/ kg)	13	21	28	36	13	16	20	**30**
فسفر P (mg/ kg)	2	4	12	10	5	6	7	**8**
پتاسیم K (mg/ kg)	63	66	215	230	60	67	180	**178**
سیلت Silt (%)	10	8	13	18	12	12	10	**12**
شن Sand (%)	30	34	40	68	40	38	44	**53**
رس Clay (%)	60	58	47	14	48	50	46	**35**
کربن آلی OC (%)	0.37	0.30	0.36	0.36	0.28	0.18	0.20	**0.20**
کربنات کلسیم معادل CCE (%)	21.25	18.5	16.8	15	16.30	15.5	14.30	**16.40**
نسبت جذب سطحی سدیم SAR	5.45	1.8	1.65	0.9	0.5	0.30	0.20	**0.2**
pH	8	7.9	7.7	7.7	7.7	7.65	7.75	**7.7**

در مؤلفه اول، قابلیت هدایت الکتریکی، بیشترین وزن را دارد و بر اساس ۱۰ درصد وزن این متغیر (Hemmati *et al*., 2019)، شن بیشترین وزن را به خود اختصاص داد که در ادامه با استفاده از ضریب همبستگی (جدول ۴)، از میان متغیرهایی که بیشترین همبستگی را با همدیگر دارند، متغیری که وزن بیشتری دارد، انتخاب و بقیه حذف گردیدند. با توجه به ضریب همبستگی ۰/۵۶ بین مقدار شن و قابلیت هدایت الکتریکی و بالا بودن وزن قابلیت هدایت اکتریکی نسبت به مقدار شن، قابلیت هدایت الکتریکی در مجموعه باقی ماند و شن حذف گردید. در مؤلفه دوم، کربن آلی دارای بیشترین وزن است و بر اساس ۱۰ درصد وزن این متغیر، نیتروژن بیشترین وزن را به خود اختصاص داد که در ادامه با توجه به ضریب همبستگی ۰/۶۴ بین آن-ها و وزن بیشتر کربن آلی نسبت به نیتروژن، نیتروژن حذف و کربن آلی در مجموعه باقی ماند. در مؤلفه سوم درصد رس و در مؤلفه چهارم pH با توجه به بالا بودن وزنشان، به‌عنوان تنها متغیرهایی که دارای بزرگترین بردار ویژه هستند، به‌عنوان حداقل داده انتخاب شدند (جدول ۳).

انتخاب حداقل داده به روش PCA در خاک‌رخ (ضریب وزنی)

در این سطح، پنج مؤلفه به‌عنوان مؤلفه اول انتخاب شدند. هر یک از این پنج مؤلفه، جداگانه ۳۰/۵۵، ۱۹/۱۰۰، ۱۴/۷۹، ۱۰/۲۴، ۹/۴۳ درصد از تغییرات واریانس و در مجموع ۸۴/۱۲ درصد از واریانس کل را توجیه می‌کنند (جدول ۵). در مؤلفه اول، سدیم محلول، بیشترین وزن را دارد و بر اساس ۱۰ درصد وزن این متغیر، از بین سایر متغیرها در این مؤلفه، سیلت بیشترین وزن را دارا می باشد که در ادامه با توجه به همبستگی ۰/۶۰ بین این دو پارامتر (جدول ۶)، سیلت از مجموعه حداقل داده حذف گردید.

جدول ۳- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ویژگی‌های سطحی مؤثر بر کیفیت خاک برای چهار مؤلفه اول

Table 3– Results of four principal component analysis of the surface soil properties affecting soil quality

Principal components	مؤلفه اول PC1	مؤلفه دوم PC2	مؤلفه سوم PC3	مؤلفه چهارم PC4
بردار ویژه Eigen value	4.067	2.756	1.587	1.222
واریانس % Variance	33.88	22.96	13.22	10.18
واریانس تجمعی % Cumulative variance	33.88	56.85	70.07	80.26
Factor loadings (Rotated component matrix)				
سدیم Na (meq/L)	0.607	-0.689	0.185	0.192
قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS/ m)	<u>0.878</u>	-0.388	-0.104	0.063
سیلت Silt (%)	0/779	0.131	-0.571	-0.056
شن Sand (%)	- 0.870	-0.251	-0.005	0.363
رس Clay (%)	0.216	0.189	<u>0.782</u>	-0.456
نیتروژن N(mg/ kg)	0.050	0.762	0.100	0.354
پتاسیم K (mg/ kg)	0.619	0.125	0.197	-0.399
فسفر P (mg /kg)	-0.452	0.567	0.398	0.116
ماده آلی OC (%)	0.414	<u>0.769</u>	0.106	0.070
کربنات کلسیم معادل CCE (%)	0.779	0.250	0.137	0.208
نسبت جذب سطحی سدیم SAR	0.209	-0.623	0.603	0.316
pH	0.505	0.235	0.120	**<u>0.627</u>**

اعداد پررنگی که زیر آن‌ها خط کشیده شده است به‌عنوان MDS انتخاب شده‌اند.

Underlined bold values were selected for MDS.

جدول ۴- ماتریس ضرایب همبستگی برای مؤلفه‌هایی با بیشترین وزن برای چهار مؤلفه اول

Table 4- Correlations matrix (Pearson) for the highly weighted variables under the first four component

Parameter	EC	Sand	Clay	N	pH	OC
EC	1					
Sand	-0.56**	1				
Clay	-0.02	-0.45*	1			
N	0.31	-0.62*	0.32	1		
pH	0.20	-0.28	0.08	0.15	1	
OC	0.10	-0.51*	0.24	0.64**	0.39	1

** معنی‌دار بودن رابطه همبستگی در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد.

** Correlation is significant at the 0.01 probability level.

در مؤلفه دوم رس، در مؤلفه سوم ماده آلی و در مؤلفه چهارم pH با توجه به بالا بودن وزنشان، به‌عنوان تنها متغیرهایی که دارای بزرگترین بردار ویژه هستند، به‌عنوان حداقل داده انتخاب شدند. در مؤلفه پنجم، فسفر قابل استفاده، بیشترین وزن را دارد و بر اساس ۱۰ درصد وزن این متغیر، از بین سایر متغیرها در این مؤلفه، پتاسیم بیشترین وزن را دارا می‌باشند. در ادامه با توجه به عدم همبستگی بین این دو متغیر و بالا بودن وزن فسفر و اهمیت پتاسیم در تغذیه گیاه، هر دو متغیر به‌عنوان حداقل داده انتخاب شدند (جدول ۵).

انتخاب حداقل داده به روش PCA در لایه خاکرخ (میانگین وزنی)

در این سطح نیز چهار مؤلفه با مقادیر ارزش ویژه بزرگتر از یک انتخاب شدند. هر یک از این چهار مؤلفه، جداگانه ۳۸/۵۸، ۱۸/۲۸، ۱۱/۸۰ ، ۱۰/۲۳ درصد از تغییرات واریانس و در مجموع ۷۸/۹۱ درصد از واریانس کل را توجیه می‌کنند (جدول ۷).

جدول ۵- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ویژگی‌های خاک‌رخ (ضریب وزنی) مؤثر بر کیفیت خاک برای پنج مؤلفه اول

Table 5- Results of five principal component analysis of the soil profile properties (weight factor) affecting soil quality

Principal components	مؤلفه اول PC1	مؤلفه دوم PC2	مؤلفه سوم PC3	مؤلفه چهارم PC4	مؤلفه پنجم PC5
بردار ویژه Eigen value	3.66	2.29	1.77	1.23	1.13
واریانس %Variance	30.55	19.100	14.79	10.24	9.43
واریانس تجمعی %Cumulative variance	30.55	49.65	64.43	74.69	84.12
Factor loadings (Rotated component matrix)					
سدیم Na (meq/ l)	<u>0.830</u>	0.201	-0.296	0.256	-0.180
قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS /m)	0.555	0.492	-0.392	0.037	0.254
سیلت Silt (%)	0.808	-0.121	0.162	-0.226	-0.053
شن Sand (%)	-0.656	0.680	-0.135	0.081	-0.096
رس Clay (%)	0.239	<u>-0.842</u>	-0.022	0.044	0.133
نیتروژن N(mg/ kg)	0.444	0.344	0.555	0.286	-.0399
پتاسیم K (mg /kg)	0.626	0.110	0.205	-0.485	<u>**-0.464**</u>
فسفر P (mg/ kg)	-0.344	0.684	0.127	0.132	<u>**0.497**</u>
کربن آلی OC (%)	0.124	0.225	<u>0.892</u>	-0.107	-0.208
کربنات کلسیم معادل CCE (%)	0.546	0.148	0.259	0.285	0.427
نسبت جذب سطحی سدیم SAR	0.688	0.220	-0.448	0.293	-0.236
pH	-0.121	-0.381	0.243	<u>0.768</u>	0.318

اعداد پررنگی که زیر آن‌ها خط کشیده شده است به‌عنوان MDS انتخاب شده‌اند.

Bold face factor loadings were considered highly weighted and underlined were retained in MDS.

جدول ۶- ماتریس ضرایب همبستگی برای مؤلفه‌هایی با بیشترین وزن برای پنج مؤلفه اول

Table 6– Correlation matrix for the highly weighted variables under the first 5 components

Parameter	Na	Silt	Clay	K	P	OC	pH
Na	1						
Silt	0.60**	1					
Clay	0.03	0.18	1				
K	0.23	0.61*	0.08	1			
P	-0.21	-0.30	-0.47*	0.05	1		
OC	-0.08	0.20	-0.13	0.17	0.10	1	
pH	-0.09	-0.07	0.29	-0.25	0.11	-0.08	1

** معنی‌دار بودن رابطه همبستگی در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد.

**Correlation is significant at the 0.01 probability level.

جدول ۷- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ویژگی‌های خاک‌رخ (میانگین وزنی) مؤثر بر کیفیت خاک برای چهار مؤلفه اول

Table 7− Results of principal component analysis for profile soil quality indicators (weighted average) for the four component

Principal components	مؤلفه اول PC1	مؤلفه دوم PC2	مؤلفه سوم PC3	مؤلفه چهارم PC4
بردار ویژه Eigen value	4.63	2.19	1.41	1.22
واریانس % variance	38.58	18.28	11.80	10.23
واریانس تجمعی % Cumulative variance	38.58	56.87	68.67	78.91
Factor loadings (Rotated component matrix)				
سدیم Na (meq/L)	0.867	0.278	0.270	-0.046
قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS /m)	0.672	0.333	0.351	-0.055
سیلت Silt (%)	0.783	-0.277	0.173	-0.113
شن Sand (%)	-0.528	0.800	0.038	-0.035
رس Clay (%)	0.146	-0.821	0.243	0.255
نیتروژن N (mg/ kg)	0.558	0.049	-0.384	-0.638
پتاسیم K (mg /kg)	0.616	-0.292	-0.241	-0.441
فسفر P (mg/ kg)	-0.553	0.398	0.037	0.319
کربن آلی OC (%)	0.681	0.084	-0.339	0.546
کربنات کلسیم معادل CCE (%)	0.659	0.457	-0.291	-0.175
نسبت جذب سطحی سدیم SAR	0.787	0.391	0.215	-0.078
pH	0.019	0.044	0.823	0.326

اعداد پررنگی که زیر آن‌ها خط کشیده شده است به‌عنوان MDS انتخاب شده‌اند.

Bold face factor loadings were considered highly weighted and underlined were retained in MDS

جدول ۸- ماتریس ضرایب همبستگی برای مؤلفه‌هایی با بیشترین وزن برای چهار مؤلفه اول

Table 8– Correlations matrix s for the highly weighted variables under the first 4 component

parameter	Na	Sand	Clay	N	SAR	pH
Na	1					
Sand	-0.27	1				
Clay	0.00	-0.80**	1			
N	0.38	-0.23	0.05	1		
SAR	0.72**	0.34	-0.25	0.08	1	
pH	0.13	0.14	0.15	-0.18	0.21	1

** معنی‌دار بودن رابطه همبستگی در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد.

** Correlation is significant at the 0.01 probability level.

در مؤلفه اول، سدیم محلول، بیشترین وزن را دارد که بـر اسـاس ۱۰ درصد وزن این متغیر، نسبت جذب سطحی سدیم، نسبت به سـایر متغیرها در این مؤلفـه، دارای بیشـترین وزن اسـت کـه بـا توجـه بـه همبستگی ۰/۷۲ درصد بینشان (جدول ۸)، نسبت جذب سطحی سدیم از مجموعه حذف و سدیم در دسته حداقل داده بـاقی مانـد. در مؤلفـه دوم، شن بیشترین وزن را دارد و بر اساس ۱۰ درصد وزن این متغیـر، رس بیشترین وزن را به خود اختصاص داد که بـر اسـاس همبسـتگی بینشان (۰/۸۰ درصد) شن حذف و رس در مجموعه حداقل داده بـاقی ماند. در مؤلفه سوم، pH و در مؤلفه چهارم، نیتـروژن بـه‌عنـوان تنهـا متغیرهایی که دارای بزرگترین بردار ویژه هستند، با توجه به بالا بودن وزنشان، به‌عنوان حداقل داده انتخاب شدند (جدول ۷).

شاخص کیفیت خاک سطحی و خـاک‌رخ مجموعـه MDS در سامانه‌های مدیریتی مختلف

بر اساس نتایج جدول ۹، در تمام سامانه‌های مـدیریتی، شـاخص وزنی محاسبه‌شده به روش EO بیشترین کیفیت خاک سطحی را بـه دلیل اختصاص وزن مناسب برای ویژگی‌های خاک، به خود اختصاص داده اسـت. در مجموعـه EO، بیشـترین کیفیـت خـاک سـطحی در شاخص تجمعی و وزنی مربوط به مدیریت عمده مالک شخصی و در مجموعه PCA، بیشترین کیفیت خاک سطحی در شاخص تجمعی و وزنی به‌ترتیب مربوط به اراضی مرتعی به‌علـت عـدم کشـت و کـار و حفظ ماده آلی به نسـبت اراضـی کشـاورزی و سیسـتم عمـده مالـک به‌علت بالا بودن بنیه اقتصـادی و بـه‌کـارگیری روش‌هـای اصـولی و کارشناسی شده به نسبت سیستم خرده‌مالکی است. بر اسـاس آزمـون مقایسه میانگین دانکن در سطح احتمال پنج درصد، در شاخص وزنی کیفیت خاک سطحی، بـین سـامانه‌هـای مـدیریتی مختلـف، تفـاوت معنـی‌داری وجـود دارد (Between groups, p-value = 0.00). در هر واحد مدیریتی نیز بین شاخص وزنی کیفیت خاک هر دو مجموعـه با شاخص تجمعی اختلاف معنـی‌داری در سـطح ۰/۰۵ مشـاهده شـد (Within groups, p-value = 0.03).

جدول ۹- شاخص کیفیت خاک در سامانه‌های مدیریتی مختلف در مجموعه MDS

Table 9– Soil quality index of the different management units in the MDS

سامانه مدیریتی management system	PCA تجزیه به مؤلفه اصلی – خاک‌رخ Soil profile – ضریب وزنی Weighted factor – تجمعی Add	PCA – Soil profile – Weighted factor – وزنی Wi	PCA – Soil profile – میانگین وزنی Weighted mean – تجمعی Add	PCA – Soil profile – Weighted mean – وزنی Wi	PCA – سطحی Surface – تجمعی Add	PCA – Surface – وزنی Wi	EO نظر کارشناس – خاک‌رخ Soil profile – ضریب وزنی Weighted factor – وزنی Wi	EO – Soil profile – Weighted factor – تجمعی Add	EO – Soil profile – میانگین وزنی Weighted mean – وزنی Wi	EO – Soil profile – Weighted mean – تجمعی Add	EO – سطحی Surface – تجمعی Add	EO – Surface – وزنی Wi
اراضی مرتعی Range lands	0.58	0.59	0.53	0.56	0.64	0.45	1.03	0.46	0.69	0.58	0.58	1.01
اراضی بینالود Binalood company	0.57	0.56	0.49	0.53	0.49	0.48	0.89	0.56	0.88	0.52	0.52	0.86
کل‌مالک Total owner	0.59	0.59	0.57	0.61	0.52	0.53	1.05	0.58	0.93	0.56	0.56	0.90
خرده‌مالک Small holder	0.55	0.54	0.48	0.52	0.47	0.47	0.90	0.56	0.90	0.50	0.50	0.75

در هر دو مجموعه EO و PCA، شاخص وزنی کیفیت در خاک‌رخ، مربوط به واحد مدیریتی عمده مالک شخصی و اراضی مرتعی در روش ضریب وزنی است. بر اساس آزمون مقایسه میانگین دانکن در سطح احتمال پنج درصد، در روش EO بین سامانه‌های مدیریتی مختلف از نظر شاخص وزنی کیفیت خاک‌رخ، تفاوت معنی‌داری وجود دارد (Between groups, p-value = 0.03). در هر واحد مدیریتی نیز بین شاخص وزنی کیفیت خاک‌رخ (میانگین وزنی و ضریب وزنی) روش EO با سایر شاخص‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ مشاهده شد (Within groups, p-value = 0.00) ولی در روش PCA در هر واحد مدیریتی بین شاخص وزنی کیفیت خاک‌رخ (میانگین وزنی و ضریب وزنی) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در این راستا، هویت (Hewitt, 2004) مشخص کرد که بهره‌وری خاک بیشتر تحت تأثیر ویژگی‌های خاک‌رخ است. واسو و همکاران (Vasu *et al.*, 2017) نیز نشان دادند که با در نظر گرفتن هر دو ویژگی سطحی و خاک‌رخ، می‌توان به سوال ادغام اطلاعات خاک سطحی و زیرسطحی برای ارزیابی کیفیت خاک پاسخ داد. همچنین ایشان نشان دادند که شاخص‌های انتخاب‌شده به‌وسیله دو روش PCA و EO متفاوت بوده و منجر به دقت و معناداری مدل‌ها شده است که راه را برای توسعه شیوه‌های مدیریتی مناسب هموار می‌کند. اما ری و همکاران (Ray *et al.*,2014) نتایج مشابهی را از روش‌های PCA و EO برای انتخاب شاخص برای خاک‌های هند و گنگ به‌دست آورند.

بررسی صحت ارزیابی

با توجه به جدول ۱۰، ارتباط عملکرد یونجه و کلزا در سامانه عمده مالک شخصی و شرکت بینالود در مجموعه EO با شاخص وزنی کیفیت خاک، بیشتر از خرده‌مالک بود. کلزا به‌عنوان یک محصولی که در سال‌های اخیر وارد کشت منطقه شده است و با اما اگرها و مقاومت‌هایی به‌منظور کشت آن از طرف کشاورزان، به ویژه خرده‌مالک‌ها روبه‌رو شده است، توانسته است به نسبت یونجه به‌ویژه در واحد مدیریتی شرکت بینالود ارتباط بیشتری با شاخص کیفیت خاک نشان دهد.

با توجه به جدول ۱۱، ارتباط شاخص وزنی کیفیت خاک‌رخ (روش ضریب وزنی) با عملکرد یونجه و کلزا در سامانه عمده مالک شخصی و شرکت بینالود در مجموعه EO بیشتر است و توانسته است رابطه بیشتری با عملکرد نشان دهد. روش ضریب وزنی به‌علت اعمال وزن‌های متفاوت به هر لایه بر اساس اهمیت آن لایه، در عملکرد محصول به نسبت روش میانگین وزنی، توانست شاخص کیفیت خاک بالاتری را در هر دو مجموعه EO و PCA نشان دهد. دلیل این‌که EO توانسته است ارتباط بهتری با عملکرد برقرار کند، شاید این باشد که PCA یک روش آماری کاهش ابعاد داده است؛ در حالی که انتخاب حداقل داده در روش EO توسط متخصصان که در جریان رابطه علت و معلولی خاک هستند، انتخاب شده است.

جدول ۱۰- رابطه (ضریب تبیین R^2) بین عملکرد محصول و شاخص کیفیت خاک سطحی در مجموعه MDS

Table 10– Correlation between Surface soil quality index and crop yield in the MDS

محصول Crop	نظر کارشناس EO		تجزیه به مؤلفه اصلی PCA	
	وزنی Weighted	تجمعی Additive	وزنی Weighted	تجمعی Additive
یونجه بینالود Binalood alfalfa	0.49	0.46	0.17	0.12
یونجه عمده‌مالک Total owner alfalfa	0.52	0.50	0.20	0.13
یونجه خرده‌مالک Smallholder alfalfa	0.35	0.32	0.14	0.09
کلزای بینالود Bbinalood Rapeseed	0.75	0.74	0.58	0.58
کلزای خرده‌مالک Smallholder Rapeseed	0.48	0.45	0.23	0.15
کلزای عمده‌مالک Total owner Rapeseed	0.65	0.60	0.53	0.50

در این خصوص واسو و همکاران (Vasu *et al.*, 2016) در هند، ارتباط شاخص کیفیت خاک با نخود را در مجموعه PCA و ارتباط بین شاخص وزنی و تجمعی کیفیت خاک با پنبه و ذرت را در هر دو لایه سطحی و خاکرخ در مجموعه EO را بیان کرد. همتی و همکاران (Hemmati *et al.*, 2019) بیشترین مقادیر همبستگی شاخص وزنی و تجمعی کیفیت خاک با عملکرد برنج برای مجموعه MDS هر دو سطح عملکرد بالا و پایین شالیزار بدست آورد. موخرجی و همکاران (Mukherjee and Lal, 2014) ضمن مقایسه سه روش تعیین شاخص کیفیت خاک در اوهایو نشان دادند که شاخص‌های وزن‌دار در مقایسه با شاخص ساده کیفیت خاک به‌دلیل اختصاص وزن مناسب برای ویژگی‌های خاک، همبستگی بیشتری با مقدار عملکرد محصول دارند. لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2014) با بررسی کیفیت خاک اراضی شالیزاری چین نشان دادند که همبستگی معنی‌دار شاخص کیفیت خاک و عملکرد برنج بیانگر این است که انتخاب ویژگی‌های خاک به‌عنوان MDS توانسته وضعیت خاک برای تولید برنج را به‌خوبی ارزیابی نماید. چروبین و همکاران (Cherubin *et al.*, 2016) نیز عنوان کردند اگرچه مقدار شاخص کیفیت تجمعی و وزنی از نظر آماری مشابه هستند؛ اما توصیه می‌شود به‌ویژه هنگامی که تعداد شاخص‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی نامتعادل است از شاخص‌های وزنی استفاده شود.

با توجه به ارتباط نسبتاً خوب عملکرد محصولات مورد مطالعه، با شاخص کیفیت خاک، به‌منظور افزایش عملکرد نیازمند یک مدیریت اصولی در جهت حفظ و بهبود کیفیت خاک به‌ویژه در سامانه خرده‌مالکی و همچنین تأمین نیازهای تغذیه‌ای این محصولات هستیم. در حال حاضر با توجه به نتایج حاصل، به‌نظر می‌رسد که سامانه عمده مالک و تجمیع اراضی، بر حفظ و بهبود کیفیت خاک مؤثرتر بوده است که می‌توان به‌عنوان یک سامانه مدیریتی که باعث ارتقای کمی و کیفی تولید و بهبود کیفیت خاک شده است به کشاورزان و مدیران منطقه معرفی کرد (Sherafat Dargani, 2016). به هر حال با توجه به افزایش جمعیت و تأمین نیازهای معیشتی مردم منطقه، تغییر کاربری اراضی مرتعی به کشاورزی، شاید در حال حاضر امری ضروری به‌نظر برسد، ولی مدیریت درست و آگاهی بخشیدن به خرده‌مالکان در راستای این تغییر کاربری، به‌منظور بهبود کیفیت خاک و افزایش عملکرد با توجه به شوری آب و خاک و تجمع املاح، به‌منظور داشتن تولید پایدار امری ضروری‌تر است. لذا با توجه به کاهش کیفیت خاک در اراضی با مدیریت خرده‌مالکی و عدم استقبال آنان از پروژه‌های تجمیع اراضی، لازم است که عملیات مدیریتی مناسب همراه با تقویت بنیه اقتصادی و اجتماعی کشاورزان به‌منظور افزایش کیفیت خاک در جهت افزایش سطح پایداری تولید با مصرف بهینه نهاده‌ها اجرا گردد.

جدول ۱۱- رابطه (ضریب تبیین R^2) بین عملکرد محصول و شاخص کیفیت خاکرخ در مجموعه MDS

Table 11– Correlation between Profile soil quality index and crop yield in the MDS

محصول Crop	نظر کارشناس EO ضریب وزنی Weighted factor وزنی Wi	تجمعی Add	میانگین وزنی Weighted mean وزنی Wi	تجمعی Add	تجزیه به مؤلفه اصلی PCA ضریب وزنی Weighted factor وزنی Wi	تجمعی Add	میانگین وزنی Weighted mean وزنی Wi	تجمعی Add
یونجه بینالود Binalood alfalfa	0.44	0.40	0.43	0.40	0.44	0.42	0.31	0.27
یونجه عمده‌مالک Total owner alfalfa	0.66	0.65	0.66	0.63	0.56	0.53	0.62	0.60
یونجه خرده‌مالک Smallholder alfalfa	0.63	0.56	0.60	0.50	0.36	0.38	0.34	0.33
کلزای بینالود Binalood Rapeseed	0.68	0.65	0.60	0.58	0.50	0.46	0.48	0.43
کلزای عمده‌مالک Total owner Rapeseed	0.63	0.62	0.58	0.50	0.51	0.49	0.34	0.33
کلزای خرده‌مالک Smallholder Rapeseed	0.30	0.29	0.49	0.48	0.34	0.32	0.34	0.22

نتیجه‌گیری

ارزیابی کیفیت خاک در دشت نیشابور نشان داد که شاخص کیفیت خاک فقط با استفاده از خصوصیات خاک سطحی، اگرچه نمی‌تواند اطلاعات کاملی را در اختیار کشاورزان و مدیران قرار دهد، ولی گنجاندن ویژگی‌های خاک‌رخ همراه با خصوصیات خاک سطحی در کنار دانش کشاورزان و کارشناسان خبره منطقه به‌منظور مدیریت پایدار اراضی لازم است. از طرفی، تفاوت در سامانه مدیریتی حاکم بر منطقه نیز بر کیفیت خاک منطقه تأثیرگذار بود. سامانه مدیریتی خرده‌مالک با توجه به مصرف کم نهاده، به‌ویژه کودهای شیمیایی، آب و ادوات کشاورزی، شاید از بعد ملاحظات زیست‌محیطی، از پتانسیل بالایی برخوردار باشد؛ ولی از نظر تولید و عملکرد، سامانه‌های عمده مالک و شرکت بینالود با توجه به بالا بودن بنیه اقتصادی و اجتماعی و به‌کارگیری روش‌های اصولی و کارشناسی‌شده، به نسبت اراضی خرده‌مالک، کیفیت خاک بالاتری را نشان دادند. در سامانه‌های مدیریتی عمده مالک نیز بایستی این مسئله مورد توجه کشاورزان و ذینفعان نیز قرار گیرد که علاوه بر مدیریت مناسب، به‌علت ورودی‌های زیاد تولید، مثل کود و آب به‌خصوص در اراضی شرکت بینالود، تولید حاصله ممکن است پایدار نباشد. بنابراین در انجام مطالعات آتی، لازم است که نیازی آبی محصولات و میزان مصرف آب در سامانه‌های مدیریتی مورد نظر، محاسبه گردند. با توجه به اینکه در خاک‌رخ، روش ضریب وزنی با اعمال وزن‌های متفاوت به هر لایه بر اساس اهمیت آن لایه، در عملکرد محصول به نسبت روش میانگین وزنی، توانست شاخص کیفیت خاک بالاتری را در هر دو مجموعه EO و PCA نشان دهد، ولی تاکنون چنین مقایسه‌ای صورت نگرفته است، بهتر است به‌منظور نتیجه‌گیری دقیق‌تر، مطالعات بیشتری در این زمینه صورت بگیرد.

منابع

1. Abera W., Assen M., and Satyal P. 2020. Synergy between farmers' knowledge of soil quality change and scientifcally measured soil quality indicators in Wanka watershed, northwestern highlands of Ethiopia. Environment, Development and Sustainability 23: 1316–1334. http://dx.doi.org/10.1007/s10668-020-00622-3.
2. Andrews S.S., and Carroll C.R. 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agro ecosystem management. Ecological Applications 11: 1573-1585.
3. Andrews S.S., Karlen D.L., and Mitchell J.P. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agriculture, Ecosystems and Environment 90: 25-45.
4. Armenise E., Redmile-Gordon M.A., Stellacci A.M., Ciccarese A., and Rubino P. 2013. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. Soil Tillage Research, Journal Elsevier 130: 91-98.
5. Askari M.S., and Holden N.M. 2015. Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems. Soil and Tillage Research 150: 57-67. http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.01.010.
6. Alizadeh K. 2015. The role of exploitation systems in the sustainable development of agriculture in Iran (study area: Central part of Torbate Heydarieh). Journal of Geographical Science 22: 71-87. (In Persian)
7. Asgharpoor M.J. 2010. Multiple criteria decision making. University of Tehran Publishers, Iran.
8. Bremner J., and Mulvaney C. 1982. Nitrogen-total. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison 595-624.
9. Bagheri Bodaghabadi M., Amini Faskhodi A., and Esfandiyarpoor I. 2007. Soil salinity zoning for environmental use of green space using AHP technique and principles of geostatistical (in Kish Island). Journal of Isfahan University (Humanities) 22: 101-116.
10. Cherubin M.R., Karlen D.L., Cerri C.E.P., Franco A.L.C., Tormena C.A., Davies C.A., and Cerri C.C. 2016. Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. PLoS One 11(3): 1-26.
11. GHaemi F., GHaemi F., and Hosseini K. 1999. Geological map (1:100000) of Neyshabour. Geological Survey of Iran Press.
12. Hemmati S., Yaghmaeian mahabadi N., Farhangi M.B., and Sabouri A. 2019. Assessing soil quality indices and their relationships with rice yield in paddy fields of central Guilan province. Jornal of Soil Management and Sustainable Production 9(1): 35-150. (In Persian with English abstract). http://dx.doi.org/10.22069/ejsms.2019.15065.1818.
13. Hewitt A.E. 2004. Soil Properties Relevant to Plant Growth: A Guide to Recognising Soil Properties Relevant to Plant Growth and Protection. Manaaki Wenua Press. Lincoln, New Zealand.
14. Hoghoghi- Esfahani M. 2012. Cooperative production societies. Samar pulisher Tehran, Iran.
15. Issanchou A., Karine D., Dupraz P., and Ropars-Collet C. 2018. Inter temporal soil management: revisiting the shape of the crop production function. Journal of Environmental Planning and Management 62(11): 1845-1863.

16. Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis Part 1, Physical and Mineralogical Methods, second ed. SSSA Book Series No. 5. SSSA and ASA, Madison, Wisconsin, USA 383‐412.
17. Karlen D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F., and Schuman G.E. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. Soil Science Society of America Journal 61: 4-10.
18. Knudsen D., Peterson G., and Pratt P. 1982. Lithium, sodium, and potassium. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America Journal 225‐246
19. Lal R. 1997. Soil Quality and Sustainability. In Methods for Assessment of Soil Degradation, edited by R. Lal, W. H. Blum, C. Valentine, and B. A. Stewart, 17–30. Boca Raton, FL: CRC Press.
20. Lal R. 2015. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. Journal Sustainability 7: 5875-5895.
21. Liu Z., Zhou W., Shen J., He P., Lei Q., and Liang G. 2014. A simple assessment on spatial variability of rice yield and selected soil chemical properties of paddy fields south China. Geoderma 235-236: 39-47.
22. Masto R., Chhonkar P., Singh D., and Patra A. 2008. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. Environmental Monitoring and Assessment 136: 419‐435.
23. Mandal V.P., Rehman S., Ahmed R., Masroor M.D., Kumar P., and Sajjad H. 2020. Land suitability assessment for optimal cropping sequences in Katihar district of Bihar, India using GIS and AHP. Spatial *Information Research*.
24. Mukherjee A., and Lal R. 2014. Comparison of soil quality index using three methods. PLoS One 9: 1–15.
25. Malakoti M.J. 2014. Optimal fertilizer recommendation for agricultural products in Iran. Moballeghan Publishers.
26. Norfleet M.L. Ditzler C.A., Puckett W.E., Grossman R.B., and Shaw J.N. 2003. Soil quality and its relationship to pedology. Soil Scienc 168: 149–155.
27. Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison 1035‐1049.
28. Piper C.S. 1966. Soil and Plant Analysis. Reprinted by Hans Publishers, Bombay, India.
29. Page A.L., Miller R.H., and Keeney,D.R. 1982. Methods of Soil Analysis, part 2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Madison, WI.
30. Ray S.K., Bhattacharyya T., Reddy K.R., Pal D.K., Chandran P., Tiwary P., et al. 2014. Soil and land quality indicators of the Indo-Gangetic Plains of India. Current Science 107: 1470–1486.
31. Sys C., Van- Ranst E., and Debaveye J. 1991. Land evaluation, part I. Principles in Land Evaluation and Crop Production Calculations. General administration for development cooperation, Brussels 40‐80
32. Salardini A.A. 1739. Soil fertility. University of Tehran Publishers, Iran.
33. Sherafat -dargani H. 2016. Extra-facilitation, a mechanism for sustainable development. Noruzi Publishers, Gorgan, Iran.
34. Thomas G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity, Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods. Soil Science Society of America Book Series.
35. Vasu D., Tiwary P., Chandran P., and Singh S.K. 2016. Soil Quality for Sustainable griculture. Geoderma 282: 70‐79. http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.010.
36. Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29‐38.
37. Yadav G.S., Lal R., Meena R.S., Babu S.U., Das A., B, S.N., Datta M., Layak J., and Saha,P. 2019. Conservation tillage and nutrient management effects on productivity and soil carbon sequestration under double cropping of rice in north eastern region of India. Ecological Indicators.
38. Zhang X.Y., Sui Y.Y., Zhang X.D., Meng K., and Herbert S.J. 2007. Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China. Pedosphere 17(1): 19-29.